4П

УДК 681.518.52:622.53

В.Н. Павлыш, Аль-Джерди Орва
Донецкий национальный технический университет МОН Украины, г. Донецк
Украина, 83000, г. Донецк, ул. Артема, 58

Применение математического моделирования в системе автоматического управления процессом гидрообработки трещиновато-пористого массива в условиях неопределенности фильтрационных параметров среды

V.N. Pavlysh, Al-Jerdi Orva
Donetsk national technical university MES of Ukraine, c. Donetsk
Ukraine, 83000, c Donetsk, Artema st., 58

The Application of Mathematical Modeling in the System of Automatic Control of Process of Hydraulic Action on Crack-Porous Massive in Conditions of Indefinite Parameters of Surroundings

В.М. Павлиш, Аль-Джерді Орва
Донецький національний технічний університет МОН України, м. Донецьк
Україна, 83000, м. Донецьк, Артема, 58

Застосування математичного моделювання в системі автоматичного керування процесом гідрообробки тріщинувато-пористого масиву в умовах невизначеності фільтраційних параметрів середовища

Рассматривается задача построения системы управления технологическим процессом гидравлического воздействия на анизотропный газонасыщенный угольный пласт как способа направленного изменения его состояния. Для описания процесса разработана математическая модель. Неопределенность значений основных фильтрационных характеристик среды учитывается путем введения в уравнение параметров, представленных стохастическими величинами.
Ключевые слова: процесс, параметры, управление, математическая модель, система.

The problem of construction of system of control of technological process of hydraulic action on uneven gas containing coal seam as a way of directed variation of its status is considered. The mathematical model proposed for describing of process. The essential feature of process is indefinite of parameters, that represented by random variables.
Key words: process, parameters, control, mathematical model, system.

Розглядається задача побудови системи керування технологічним процесом гідравлічної дії на анізотропний газонасичений вугільний пласт як засобу спрямованої зміни його стану. Для опису процесу розроблена математична модель. Невизначеність значень основних фільтраційних характеристик середовища враховується шляхом введення у рівняння параметрів, які представлені стохастичними величинами.
Ключові слова: процес, параметри, керування, математична модель, система.

Введение

Актуальность задачи. При разработке месторождений полезных ископаемых, в частности, угольных пластов, важное значение имеет задача снижения интенсивности проявления негативных свойств разрабатываемого массива. Одним из основных способов решения задачи является целенаправленное изменение состояния массива путем внешнего воздействия. В условиях анизотропии обрабатываемой сплошной среды качественная реализация процесса обеспечивается введением автоматического управления параметрами воздействия, при этом состояние массива представляется с помощью математической модели. Неопределенность характеристик среды приводит к необходимости использования элементов искусственного интеллекта (в частности, элементов нечеткой логики). В этой связи тема работы является актуальной.

Цель работы – обоснование структуры математической модели и алгоритма ее реализации.

Математическая модель нелинейно-упругого режима фильтрации жидкости в трещиновато-пористой сплошной среде

Гидравлическая обработка угольного пласта осуществляется путем напорного нагнетания жидкости через скважины, пробуренные по пласту согласно технологическим схемам, принятым в соответствии с горно-геологическими условиями.

Исходная модель строится на основании уравнений движения и неразрывности для жидкости [1], в которые входят скорости движения жидкости и смещений твердых частиц:

$$\frac{\partial P}{\partial x_i} = -\frac{\mu}{k} n_Э (w_i - u_i); \quad (1)$$

$$\frac{\partial n_Э}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_i} n_Э w_i = 0. \quad (2)$$

В сцементированных средах, к которым относятся угольные пласты и вмещающие породы, можно пренебречь скоростью перемещения твердых частиц по сравнению со скоростью жидкости всюду, кроме уравнений неразрывности. На основании результатов исследования этих уравнений в режиме фильтрации жидкости с относительно небольшим (до 10^3 ат) перепадом давлений в работах [1], [2] получено уравнение нелинейно-упругого режима фильтрации:

$$\frac{\partial P}{\partial t} = \chi \frac{\partial}{\partial x_i} \left\{ \left[1 + \alpha (P - P_0)\right] \frac{\partial P}{\partial x_i} \right\}, \quad (3)$$

где $\chi = \dfrac{k_0}{\mu_0 (n_{Э0} a_\rho + a_m)}$ – коэффициент пьезопроводности;

$\alpha = a_k + a_\rho - a_\mu$,

a_k, a_n, a_μ, a_ρ – соответственно коэффициенты изменения проницаемости, пористости, вязкости и плотности.

Полная математическая модель процесса должна содержать комплекс математических зависимостей, на основе которых можно представить ход процесса и рассчитать его параметры. В данном случае для получения математической модели процесса гидродинамического воздействия на пласт уравнение (3) должно быть дополнено начальными и граничными условиями, которые, в свою очередь, определяются технологическими схемами и режимами обработки [3], [4]. Значит, постановка задачи исследования и расчета параметров процесса формируется в соответствии с конкретной технологической схемой.

Основные варианты постановки задачи моделирования

Предварительно необходимо сделать несколько замечаний по поводу терминологии. При воздействии на пласт через группу скважин говорят о галерее, батарее или каскаде скважин. Некоторые авторы применяют тот или иной термин в зависимости от схемы расположения скважин, другие же оперируют этими понятиями произвольно.

Предлагается при обработке угольных массивов связать эту терминологию с технологией воздействия и далее говорить о галерее скважин, если нагнетание производится поочередно из различных скважин данной группы независимо от их взаимного расположения, под каскадом же понимать одновременное воздействие на пласт через группу скважин в условиях гидродинамического взаимодействия потоков, обеспечивающего равномерное насыщение массива. При такой терминологии задача расчета галереи не отличается от задачи для одиночной скважины, при каскаде же имеются принципиальные отличия, связанные с интерференцией потоков и взаимодействием контуров.

При постановке задачи исследования для различных схем уравнение (3) дополняется соответствующими начальными и граничными условиями.

В начальный момент времени t = 0 задается распределение давления в области фильтрации:

$$P(x_i,t)\big|_{t=0} = P_0. \tag{4}$$

На скважине задается режим давления

$$P(x_i,t)\Big|_{x_i=x_i^C} = P_C(t)$$

или темп нагнетания

$$\Phi_{G_c}\ \frac{k}{\mu}\frac{\partial P(x_i,t)}{\partial n}ds = cq(t) \tag{5}$$

где $P_C(t)$ – давление на скважине; $x^C{}_i$ – координаты скважины; G_C – контур скважины; $q(t)$ – темп нагнетания; c – коэффициент, зависящий от размерности.

На границе области фильтрации задается либо давление, если область оконтурена скважинами или выработками, либо условия непроницаемости на контакте с боковыми породами или на «бесконечности» (когда обрабатывается нетронутый массив):

$$P(x_i,t)\big|_{\Gamma} = P_\Gamma \tag{6}$$

или

$$\frac{\partial P(x_i,t)}{\partial n}\Big|_{\Gamma} = 0, \tag{7}$$

где Γ – граница области фильтрации; P_Γ – давление на границе области.

Таким образом, сформулированные задачи исследования параметров процесса гидродинамического воздействия на пласт исчерпывают основные рациональные схемы обработки. Технологические схемы с иным расположением скважин будут являться частными случаями рассматриваемых задач. Дальнейшая работа заключается в математической формулировке каждой из отмеченных задач и решении полученных уравнений.

Моделирование процесса воздействия на пласт через одиночную скважину, пробуренную впереди забоя

На рис. 1 приведено схематическое изображение варианта воздействия на пласт через одиночную скважину, параллельную линии забоя, в режиме фильтрации.

В этом случае скважину можно считать расположенной в начале координат, другие варианты положения скважины можно свести к этому.

Основу модели составляет уравнение (3).

Начальные и граничные условия формируются из следующих соображений. При данном расположении скважины обрабатываемая зона ограничена, т.к. при длительном нагнетании жидкость выйдет на выработки, оконтуривающие массив угля, подвергаемый воздействию через скважину. Поэтому область фильтрации по оси 0X ограничена отрезком 0L, причем величина L может либо задаваться (когда известны размеры зоны, которую необходимо обработать одной скважиной), либо рассчитываться (когда задано ограниченное время обработки $T_{обр}$).

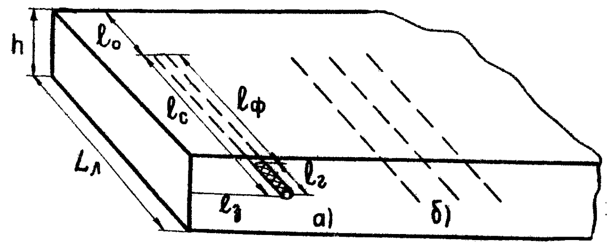


Рисунок 1 – К расчету параметров воздействия на пласт через скважины, пробуренные впереди очистного забоя:
а) одиночная скважина; б) каскад

Следовательно, в качестве начальных условий задаются:

а) давление на скважине в начальный момент

$$P(x,t)\Big|_{\substack{t=0\\x=0}} = P(0,0) = P_c\,; \tag{8}$$

б) распределение давления на отрезке (0,L] при $t=0$:

$$P(x,t)\Big|_{\substack{t=0\\0<x\le L}} = P(x,0); \tag{9}$$

По смыслу, начальное распределение давления, очевидно, равно давлению газа в пласте:

$$P(x,0) = P_0\,;$$

Краевые условия.

На левом конце ($x=0$) задается давление на скважине или темп нагнетания, причем эти величины могут быть либо постоянными, либо являться функциями времени:

$$P(x,t)\Big|_{\substack{x=0\\t>0}} = P(0,t) = P_c(t); \tag{10}$$

или

$$\frac{k}{\mu}\cdot\left.\frac{\partial P}{\partial x}\right|_{x=0} = cq; \qquad (11)$$

где q – удельный расход (расход на единицу площади фильтрующей поверхности); c – коэффициент приведения, зависящий от размерности величин, входящих в выражение (11).

На правом конце ($x = L$) условия определяются схемой, а именно:

а) если на расстоянии L от нагнетательной скважины пробурена отточная и исследуется движение жидкости от нагнетательной к отточной скважине, то в точке $x=L$ задается постоянное давление, равное давлению на выработке (обычно считают его равным атмосферному):

$$P(x,t)\Big|_{\substack{x=L\\ t>0}} = P(L,t) = P_K. \qquad (12)$$

Такое же условие задается, если рассматривать фильтрацию в сторону выработки, но при этом надо учитывать влияние опорного давления [2], [3];

б) если исследовать движение жидкости по мощности пласта в сторону кровли (почвы), то на границе задается условие непроницаемости:

$$\left.\frac{\partial P}{\partial x}\right|_{x=L} = 0. \qquad (13)$$

Решая уравнение (3) с начальными условиями, выбранными из (8) – (13) в соответствии с конкретной задачей исследования, можно найти распределение давления на отрезке [0,L] в любой момент времени, что дает возможность рассчитывать параметры соответствующей схемы воздействия на пласт. При этом, как указывается в [2], решив задачу при некоторых нормированных условиях, можно получить решение большого класса задач, переход к которым осуществляется обратным пересчетом нормированных решений.

Уравнение (3) – это нелинейное параболическое уравнение, точное решение которого весьма затруднено. К настоящему времени разработан ряд численных и аналитических методов для приближенного решения уравнений этого типа. Большой вклад в разработку и практическое использование уравнений этих методов внесли ученые Института кибернетики с ВЦ АН Узбекистана под руководством проф. Ф.Б. Абуталиева. Разработанные ими методы и программы успешно используются при исследовании процессов в области мелиорации, добычи нефти и газа и т.д. [4]. Эти методы в дальнейшем используются в работе. Однако различия в условиях воздействия, целях исследований (в частности, разработка инженерной методики расчета параметров обработки угольных пластов) определяют необходимость проведения самостоятельных исследований для угольных пластов.

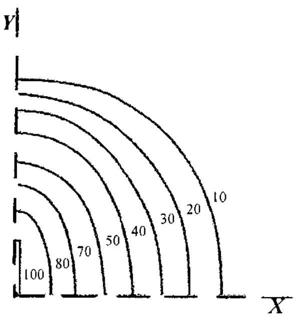
Как отмечается в [2], проницаемость пласта различается не только вдоль различных осей. Структура пласта весьма сложна, и картины фильтрации, полученные для постоянных усредненных значений фильтрационных параметров, дают идеализированное представление о характере процесса. При такой форме области воздействия распространение влаги должно происходить равномерно, чего на самом деле не наблюдается. Следовательно, необходимо так подобрать параметры модели, чтобы получить реальную картину процесса.

Один из путей подбора таких параметров – задание анизотропии пласта по всей области фильтрации независимо от направления осей, при этом, естественно,

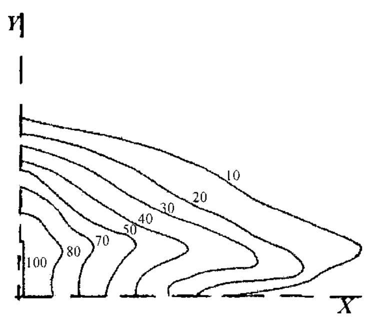
необходимо учесть, что коэффициент проницаемости вдоль оси 0_Z в любом случае в несколько раз меньше проницаемости по простиранию (оси 0_X). Поскольку пласт состоит из блоков с разной проницаемостью, пересечен трещинами различного происхождения, то в нем можно выделить некоторые области с различной величиной коэффициента фильтрации, и соответствующим образом задать набор коэффициентов проницаемости. Ввиду того, что выделить на практике такие области, не проникнув в пласт, невозможно, в первом приближении можно задать набор коэффициентов проницаемости хаотично, используя таблицу случайных чисел. Благодаря этому приему можно будет исследовать процесс фильтрации в условиях, более близких к реальным по сравнению со случаем, когда проницаемость осредняется по трем (двум) направлениям.

На рис. 2 приведены результаты решения задачи в виде рассчитанных линий равного давления (в процентах от давления на скважине) в области воздействия при постоянном значении (рис. 2а) и случайном наборе значений коэффициента проницаемости (рис. 2б), т.е. коэффициент проницаемости представляется переменной, имеющей стохастический характер. Как видно из результатов моделирования, жидкость распространяется по всему пласту неравномерно, образуются слабо увлажненные участки. При этом жидкость может найти путь фильтрации, по которому быстро выйдет на соседнюю скважину, оставив большие блоки неувлажненными. Обходя эти блоки, жидкость «закупоривает» имеющийся в них метан, а это может привести к образованию зон с высоким содержанием газа под давлением, и увлажнение даст нежелательный эффект в отношении внезапного выброса.

Таким образом, используя технологию нагнетания жидкостей через одиночные скважины, добиться равномерной, качественной обработки массива практически невозможно.



а) Одиночная скважина
k=Const



б) Одиночная скважина,
k=Var

Рисунок 2 – Результаты моделирования процесса воздействия через одиночную скважину при постоянном и варьируемом значениях проницаемости

Выводы

Процесс гидровоздействия на сплошной трещиновато-пористый угольно-породный массив адекватно описывается нелинейным уравнением параболического типа, решение которого производится с помощью метода конечных разностей.

Для моделирования процесса воздействия в условиях неопределенности значений параметров объекта обработки предложено ввести характеристику проницаемости среды в виде стохастической переменной, что позволяет получить реальную картину процесса и эффективно использовать результаты моделирования при построении алгоритма управления технологией гидровоздействия.

Литература

1. Павлыш В.Н. Физико-технические основы процессов гидравлического воздействия на угольные пласты : монография / В.Н. Павлыш, С.С. Гребенкин. – Донецк : ВИК», 2006. – 269 с.
2. Павлыш В.Н. Основы теории и параметры технологии процессов гидропневматического воздействия на угольные пласты : монография/ В.Н. Павлыш, Ю.М. Штерн.– Донецк : ВИК, 2007.– 400 с.
3. Гидродинамическое воздействие на газонасыщенные угольные пласты / А.Ф. Булат, К.К. Софийский, Д.П. Силин и др. – Днепропетровск, 2003. – 220 с.
4. Теоретические основы процессов комплексного гидропневматического воздействия на угольные пласты: Монография / Под общ. ред. Павлыша В.Н. ; Павлыш В.Н., Гребенкин С.С., Бондаренко В.И., Агафонов А.В., Штерн Ю.М., Гальченко А.М. – Донецк : ВИК, 2006.– 273 с.

Literatura

1. Pavlysh V.N., Grebyonkin S/S/ Fiziko-tekhnicheskiye osnovy protsessov gidravlicheskogo vozdeystviya na ugolniye plasty / Monografiya. – Donetsk: “VIK”, 2006. – 269 s.
2. Pavlysh V.N., Shtern Y.M. Osnovy teorii i parametry tekhnologii protsessov gidropnevmaticheskogo vozdeystviya na ugolnye plasty / Monografia. – Donetsk: “VIK”, 2007. – 400 s.
3. Gidrodinamicheskoye vozdeystviye na gazonasyshchenniye ugolniye plasty / A.F. Bulat, K.K. Sofiyskiy, D.P. Silin I dr. – Dnepropetrovsk, 2003/– 220 s.
4. Teoretbcheskiye osnovy protsessov kompleksnogo gidropnevmaticheskogo vozdeystviya na ugolniye plasty. – Donetsk: “VIK”, 2006. – 273 s.

V.N. Pavlysh, Al-Jerdi Orva

The Application of Mathematical Modeling in the System of Automatic Control of Process of Hydraulic Action on Crack-Porous Massive in Conditions of Indefinite Parameters Of Surroundings

The problem of construction of system of control of technological process of hydraulic action on uneven gas containing coal seam as a way of directed variation of its status is considered. The mathematical model, based on nonlinear equation of parabola type, proposed for describing of process. The essential feature of process is indefinite of parameters, that represent by random variables.

Complex mathematical model must contains the system of mathematics dependents, which are the base of representation of status of process and calculate its parameters. In present case for obtaining of mathematical model of process of hydro-dynamical action on seam the basic equation must be added by initial and boundary conditions, that define according to technological schemes and types of processing. So, the foundation of the problem of investigation and calculation of parameters of process must be dealt according to given technological scheme.

The coal seam has complicated structure, contains blocks with various flow coefficients, and working liquid enters irregular. For providing of effective action we have to find distribution of characters, but it is impossible without destruction of massive.

In the article distribution of flowing parameters of seam as a random variables, limited by maximal and minimal values, is proposed. This method provides us to investigate the process as real object and try to find a ways for overcoming of negative infusion of this property of coal and rock massive.

The results of investigations show, that using technological schemes of influence with single chinks uniform qualitative processing is impossible.

The way of a rise of effectiveness of processing is introduction of technology with group of chinks provided conditions of interference of contrary streams.

Статья поступила в редакцию 08.12.2012.